

DOI: 10.18559/SOEP.2016.6.6

Adam Staliński

Uniwersytet Ekonomiczny w Poznaniu, Wydział Gospodarki Międzynarodowej,
Katedra Konkurencyjności Międzynarodowej
adam.stalinski@ue.poznan.pl

**PERSPEKTYWY DLA INWESTOWANIA
W BIOMASĘ WYKORZYSTYWANĄ
DO PRODUKCJI ENERGII ELEKTRYCZNEJ
W POLSCE – PROBLEM DOSTĘPNOŚCI
ZIEMI NA PRZYKŁADZIE UPRAWY
WIERZBY WICIOWEJ**

Streszczenie: Wykorzystanie biomasy jest postrzegane jako jeden ze sposobów na przejście z energetyki opartej na paliwach kopalnych do energetyki opartej na źródłach odnawialnych. Jednak do uprawy roślin energetycznych, jako potencjalnego źródła biomasy, potrzeba ogromnych obszarów, które są obecnie użytkowane przez producentów żywności. Popularność i rozwój produkcji biomasy jako źródła energii odnawialnej rodzi pytanie – czy starczy ziemi, by zapewnić dostateczną podaż zarówno żywności, jak i surowców energetycznych pozyskiwanych z biomasy. W niniejszym opracowaniu wykonano szacunkowe obliczenia i przeprowadza analizę mającą odpowiedzieć na pytanie, czy Polska posiada dostatecznie dużo gruntów ornych, by zaspokoić krajowe zapotrzebowanie na energię elektryczną przez spalanie biomasy z wierzby wiciowej. Podjęto także dyskusję na temat ekonomicznych skutków, jakie to może wywołać w kontekście konkurencyjności tego sposobu wytwarzania energii elektrycznej, by przybliżyć perspektywy dla długoterminowej opłacalności inwestowania w ten sektor na masową skalę.

Słowa kluczowe: biomasa, wierzba wiciowa, energia elektryczna, grunty orne, dostępność ziemi.

Klasyfikacja JEL: Q01, Q15, Q18, Q21, Q41, Q42, Q56.

**PERSPECTIVES FOR INVESTMENT IN BIOMASS
ELECTRICITY IN POLAND – THE ISSUE OF THE LAND
AVAILABILITY IN THE EXAMPLE *SALIX VIMINALIS***

Abstract: The use of biomass is perceived as a way to transition from energy based on fossil fuels to renewable energy. However, the cultivation of energy crops requires large areas, which are currently being used by food manufacturers. The popularity and development of biomass production raises the question whether there is enough land to provide both adequate supplies of food and energy. In this paper it is examined whether Poland has enough arable land to satisfy the national demand for electric power by burning biomass from willow (*Salix viminalis*). There is also a discussion of the economic impact, which in the context of competitiveness of energy production in this way, can bring prospects for long-term profitability of investing in this sector on a massive scale.

Keywords: arable land, biomass, competition for land, electric energy, *Salix viminalis*.

Wstęp

Kończące się zasoby paliw kopalnych motywują do podejmowania badań nad odnawialnymi źródłami energii (OZE), które mogłyby je zastąpić. Studia dotyczą zarówno optymalizacji technologicznej [Ruiz i in. 2013; Saidur i in. 2011; Gerber, Gassner i Maréchal 2011], jak i ekonomicznej [Brecht, Tyner i Iles 2011; Coronado, Yoshioka i Silveira 2011] w celu opracowania metod produkcji energii, które mogłyby konkurować z dotychczasowymi źródłami pod względem kosztowym oraz pomogłyby zredukować emisję gazów cieplarnianych. Wielu autorów prac związanych z pozyskiwaniem biomasy zwraca jednak uwagę na problem wynikający z ogromnego zapotrzebowania na ziemię, połączonego z jej ograniczoną dostępnością zarówno w wymiarze globalnym [Offermann i in. 2011; Smeets i in. 2007; Fischer i Schrattenholzer 2001; Berndes, Hoogwijk i van den Broek 2003; Carneiro i Ferreira 2012], jak i krajowym [Fernandes i Costa 2010; Ćosić, Stanić i Duić 2011; Steubing i in. 2010; Lewandowski i in. 2006] czy regionalnym [López-Rodríguez i in. 2009; Vasco i Costa 2009]. Kwestie te są także poruszane w polskim kontekście [Baum i in. 2013; Faber 2008; Guła, Wajss i Goryl 2012; Zochowska, Kingsbury i Kobuszyn 2012], jednak niewiele jest analiz uwzględniających różnorodną wydajność produkcyjną poszczególnych klas gleb, która w połączeniu z ograniczoną ilością każdej

z nich i koniecznością przeznaczenia tych lepszych na uprawę żywności dodatkowo limituje możliwości upraw roślin energetycznych.

W prezentowanym artykule podjęto próbę określenia potencjału produkcyjnego Polski dla biomasy do produkcji energii elektrycznej, uwzględniając różnice wynikające z wydajności poszczególnych klas gleb. Porównano wielkość zapotrzebowania na ziemię różnych klas bonitacyjnych z jej ilością dostępną w Polsce. Analiza miała na celu wyciągnięcie wniosków dotyczących długoterminowych perspektyw przydatnych w szacowaniu opłacalności inwestowania w ten sektor. Gatunkiem wybranym do analizy jest wierzba wiciowa (*Salix viminalis*), roślina obecnie najczęściej wykorzystywana do celów elektroenergetycznych [Piskier 2008, s. 216].

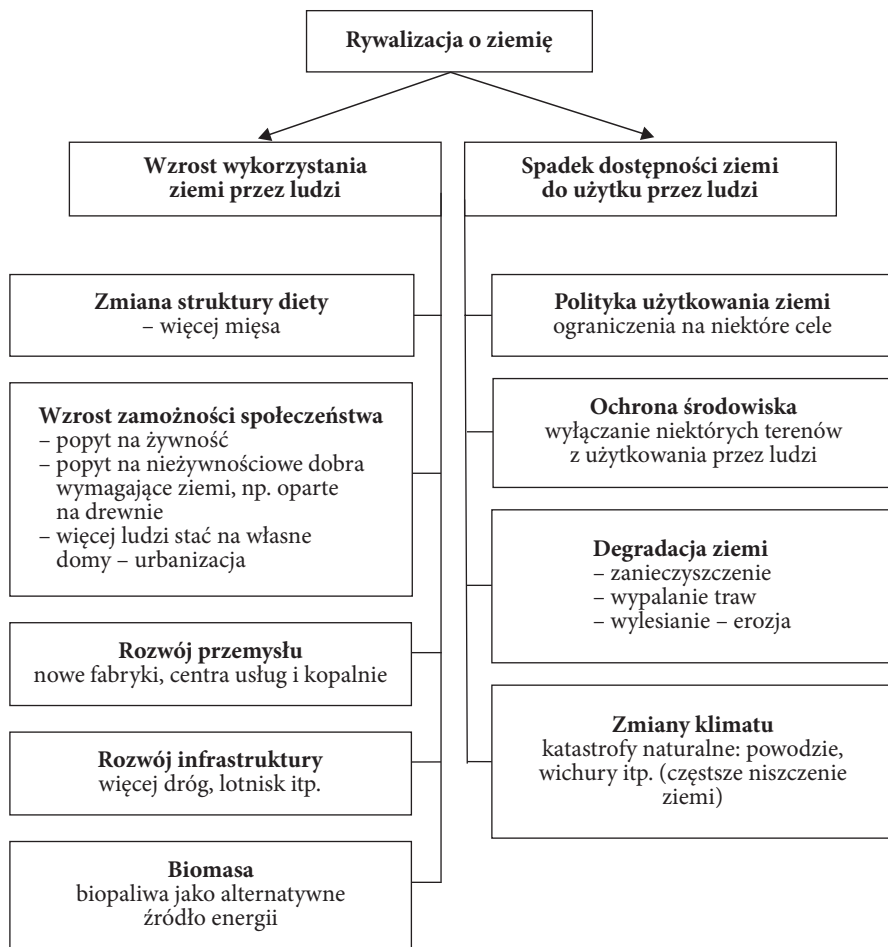
1. Przyczyny rywalizacji o ziemię

Masowe stosowanie biomasy do celów energetycznych pociąga za sobą konieczność wykorzystania ogromnych obszarów gruntów ornych. Są one dostępne w bardzo ograniczonej ilości, dlatego wywołuje to konflikt z producentami żywności [Hoogwijk 2004, s. 28]. Istnieje ponadto wiele czynników, które tę rywalizację zaostrzają (rysunek 1).

Po pierwsze, wraz ze wzrostem zamożności na świecie obserwuje się tendencję do wzrostu udziału mięsa w diecie [Smith i in. 2010, s. 2947–2948]. Jest ono jednym z najdroższych składników w przemyśle spożywczym [Darmon, Ferguson i Briend 2002, s. 3766], dlatego traktowane jest jako bardziej luksusowy typ jedzenia, na który ludzie decydują się wraz ze wzrostem dochodów [Błażejewska 2012, s. 15]. Ma to znaczenie dla kwestii rywalizacji o ziemię, gdyż produkcja mięsa wymaga znacznie więcej obszarów niż produkcja żywności roślinnej. Szacuje się, że chociaż w skali całego świata mięso stanowi zaledwie 15% ludzkiego jedzenia, to do jego wytworzenia jest wykorzystywane około 80% światowej ziemi rolnej (przeznaczanej na wypasanie zwierząt i pasze) [Smith i in. 2010, s. 2948].

Po drugie, wzrost zamożności na świecie (także w Polsce – PKB *per capita* wg parytetu siły nabywczej wzrosło w latach 2004–2013 z 10 900 do 17 500 EUR [Eurostat 2014]) wpływa na użytkowanie ziemi zarówno dodatnio, jak i ujemnie:

- wzrasta popyt na dobra wymagające ziemi, np. papier czy różne naturalne włókna;
- wzrasta wykorzystanie substytutów drewna (zarówno w przemyśle, jak i w energetyce);



Rysunek 1. Przyczyny wzrastającej rywalizacji o ziemię

Źródło: Na podstawie [Smith i in. 2010, s. 2942]

- rozwinięte kraje eksportują mniej pierwotnych dóbr;
- podejmuje się więcej działań chroniących środowisko przed nadmierną eksploatacją;
- więcej ludzi stać na budowę własnych domów, co powoduje wzrost zajmowanych przez nich obszarów i urbanizację.

Związany z tym jest również rozwój przemysłu. Powstają nowe zakłady przemysłowe i usługowe mające zaspokoić wzrastający popyt na kolejne dobra. Także w sferze górnictwa następuje ekspansja wynikająca

z wyeksploatowania kolejnych miejsc. Rozwija się infrastruktura, zarówno liniowe (drogi różnego typu, sieci elektryczne, naziemne gazociągi itp.), jak i nieliniowe jej elementy (lotniska, parkingi, stacje itp.) [Smith i in. 2010, s. 2942–2943].

Wysokość PKB *per capita* jest także dodatnio skorelowana ze zużyciem energii na osobę [Richmond i Kaufmann 2006, s. 176–189; Asafu-Adjaye 2000, s. 615–625]. W połączeniu z kończącymi się zasobami obecnie eksploatowanych surowców wpływa to na rozwój działań w zakresie poszukiwania alternatywnych źródeł energii, w tym biomasy z roślin energetycznych wieloletnich, które wymagają dużej powierzchni pod ich uprawę.

Jednocześnie wraz ze wzrostem zapotrzebowania na ziemię pojawia się wiele tendencji i działań skutkujących spadkiem jej podaży. Coraz mniej obszarów może być wykorzystanych przez ludzi do większości celów, w jakich dotychczas ta ziemia była użytkowana (zamieszkanie, rolnictwo, przemysł itp.).

Jedną z przyczyn jest wzrost świadomości ludzi odnośnie do długofalowych skutków nadmiernej eksploatacji środowiska, co przejawia się w różnych formach prawnych ograniczeń użytkowania ziemi [Smith i in. 2010, s. 2945]. Wiele obszarów zostaje objętych różnymi formami ochrony. W krajach wyżej rozwiniętych prowadzi się również działania neutralizujące negatywne skutki działań z poprzednich lat, np. dolesianie. W rezultacie, mimo mocnych tendencji spadkowych (np. w Afryce, w Europie, krajach byłego ZSRR i w Kanadzie) zwiększony popyt na drewno nie powoduje spadku powierzchni lasów [Hoogwijk 2004, s. 65]. W Polsce zwiększają się tereny przez nie zajmowane. Obecnie jest to 29,1%. Planuje się, by do 2020 roku było to 30%, a do 2050 roku 33% [Ministerstwo Gospodarki 2010, s. 131, 178].

Na zmniejszenie podaży ziemi mają wpływ także degradacja niektórych obszarów i zmiany klimatu, które skutkują nasileniem się ekstremów pogodowych, przez co częściej występują katastrofy naturalne niszczące ziemię.

2. Podział gruntów ornych w Polsce

Grunty orne mocno różnią się między sobą warunkami do uprawy poszczególnych roślin. Różnorodna żyzność, głębokość czy zasobność w wodę sprawiają, że istnieje wiele ograniczeń w zakresie tego, jakie rośliny można na nich uprawiać. Trzeba to wziąć pod uwagę, decydując o przeznaczeniu określonych obszarów na produkcję biomasy, gdyż wiele roślin jadalnych

jest bardzo wymagających i pewnych gruntów przeznaczonych dotychczas pod ich uprawę nie można przeznaczyć na inne cele, gdyż zagroziłoby to bezpieczeństwu żywieniowemu.

Gleby pod względem przydatności rolniczej dzieli się na klasy. Struktura klas jest różna w zależności od przeznaczenia terenu. Klasyfikacja bonitacyjna gruntów ornych obejmuje 6 klas, niektóre dzielą się na podklasy.

Klasa I – gleby orne najlepsze. Są to gleby, na których można uprawiać wszystkie, nawet bardzo wymagające rośliny. Dają one duże plony przy małych nakładach. Stanowią jednak zaledwie 0,5% gruntów ornych w Polsce.

Klasa II – gleby orne bardzo dobre. Mają właściwości niewiele gorsze od gleb I klasy. Uprawiać można na nich te same rośliny, ale przy tych samych nakładach dają mniejsze plony. Zajmują 3,2% gruntów ornych w Polsce.

Klasa IIIa – gleby orne dobre. Mają właściwości wyraźnie gorsze od wyższych klas, zwłaszcza pod względem stosunków wodnych. Plony zależą od nawadniania i nawożenia. Zwykle wchodzi one w skład kompleksów pszennych dobrych i żytnich bardzo dobrych. Można też na nich osiągać duże plony żyta, jęczmienia, owsa i ziemniaków. Na cięższych także buraków cukrowych, pszenicy i koniczyny czerwonej. Stanowią 10% gruntów ornych w Polsce.

Klasa IIIb – gleby orne średnio dobre. Zbliżone do klasy IIIa, ale o gorszych właściwościach. Zalicza się tu gleby okresowo zbyt suche lub zbyt mokre. Należą do kompleksów żytniego bardzo dobrego, pszennego dobrego, zbożowo-pastewnego mocnego i, rzadziej, pszennego wadliwego. W dobrych warunkach atmosferycznych, przy umiejętnie prowadzonej gospodarce można na nich uprawiać pszenicę, buraki cukrowe i koniczynę czerwoną, uzyskując duże plony. Stanowią 13,7% gruntów ornych w Polsce.

Klasa IVa – gleby orne średniej jakości. Ciężka odmiana jest zasobna w składniki pokarmowe, ale mało przewiewna, zimna i trudna w uprawie. Duża jej część ma okresowo za wysoki poziom wód i wymaga melioracji (po jej wykonaniu może być zaliczona do wyższej klasy, nawet II). W dobrych warunkach atmosferycznych, przy umiejętnie prowadzonej gospodarce można na tam uprawiać pszenicę, buraki cukrowe i koniczynę czerwoną. Należy do kompleksu zbożowo-pastewnego mocnego lub pszennego wadliwego. Lekka odmiana jest okresowo zbyt sucha i zawiera dużo piasku. Należy najczęściej do kompleksów żytnich bardzo dobrego lub dobrego. Ziemie klasy IVa stanowią 22,5% gruntów ornych w Polsce.

Klasa IVb – gleby orne średniej jakości gorsze. Podobne do klasy IVa, ale bardziej suche lub wilgotne. Mają liczne wady. Mogą być na stokach

o dużym nachyleniu, występować tam może bardzo wysoki poziom wód gruntowych, mogą być bardzo płytko podścielone piaskiem. Należą, w zależności od ciężkości, do kompleksów zbożowo-pastewnego mocnego lub któregoś z kompleksów żytnich. Zajmują 16,8% powierzchni ornej Polski.

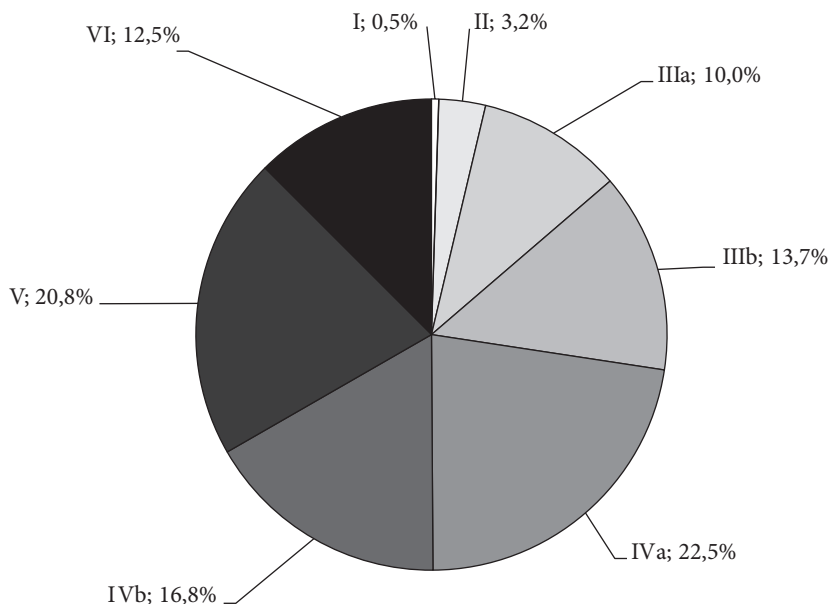
Klasa V – gleby orne słabe. Są to ziemie mało urodzajne, zawodne. Należą do nich gleby okresowo lub stale zbyt suche (zaliczane do kompleksów żytnich słabego i bardzo słabego) oraz okresowo lub stale zbyt wilgotne (kompleksy zbożowo-pastewne). Stanowią 20,8% gruntów ornych w Polsce.

Klasa VI – gleby orne najslabsze. Bardzo słabe, wadliwe i zawodne. Do tej klasy należą gleby za suche bardzo lekkie lub za mokre o stałe za wysokim poziomie wody gruntowej. Zalicza się je do kompleksu żytniego najslabszego i zbożowo-pastewnego słabego, w górach zaś owsiano-pastewnego górskiego. Stanowią 12,5% gruntów ornych w Polsce [Komornicki i in. 1998, s. 68–74].

W klasie VI wyróżnia się jeszcze gleby orne pod zalesienie, które są zbyt ubogie i zwykle zbyt suche, by były przydatne w uprawie polowej.

Zestawienie udziału poszczególnych klas w całkowitym areale gruntów ornych w Polsce przedstawia rysunek 2.

Ze względu na to, że poszczególne rośliny uprawne mają różne wymagania co do warunków (np. wilgotności), poza klasyfikacją bonitacyjną sto-



Rysunek 2. Struktura klas bonitacyjnych gruntów ornych w Polsce

Źródło: [Komornicki i in. 1998, s. 74]

suje się również podział na kompleksy przydatności rolniczej. Wyróżnia się cztery ich grupy: pszenne, żytnie, zbożowo-pastewne i górskie [Komornicki i in. 1998, s. 75–76]. Najlepsze gleby są więc niezastąpione w produkcji żywności i muszą być na nią zarezerwowane. Gleby dwóch najwyższych klas stanowią zaledwie 3,7% gruntów ornych w Polsce. Trzecia klasa to kolejne 23,7%. Podobnie klasa IVa jest bardzo potrzebna do produkcji żywności. Gleby lepszych klas powinny być przeznaczane na rolnictwo, gdyż produkcja żywności jest priorytetem. W związku z tym na plantacje roślin energetycznych nie powinno się przeznaczać tych gleb, a jedynie te gorszej jakości [Szczukowski 2012, s. 245]. Podaż czynnika produkcji w postaci ziemi jest więc mocno ograniczona, zwłaszcza w najatrakcyjniejszych klasach bonitacyjnych.

3. Swoistość uprawy wierzby wiciowej

Wierzba z rodzaju *Salix* jest w Polsce reprezentowana przez 28 gatunków i liczne mieszańce, często trudne do odróżnienia. Najczęściej wykorzystywane do celów energetycznych są: wierzba biała (*Salix alba* L.), wierzba laurowa (*Salix pentandra* L.), wierzba migdałowa (*Salix triandra* L.), wierzba purpurowa (*Salix purpurea* L.), wierzba iwa (*Salix caprea* L.) oraz wierzba wiciowa (*Salix viminalis* L.). Najpopularniejszy jest ten ostatni gatunek [Piskier 2008, s. 216] i to właśnie on został w niniejszym opracowaniu przeanalizowany pod kątem przydatności jako biopaliwo mogące być konkurencyjnym źródłem energii.

Wierzba wiciowa to wyniosły krzew lub drzewo dorastające do 15 metrów wysokości. Ma cienkie i giętkie gałązki oraz liście o długości 10–25 cm [Szczukowski 2012, s. 245].

Dobrze sprawdza się na glebach zanieczyszczonych, np. metalami ciężkimi przez przemysł [Tworkowski 2006, s. 1]. Pozwala to na wykorzystanie na jej uprawę terenów nienadających się pod uprawę roślin spożywczych. Wierzba wyciąga zanieczyszczenia z ziemi, dlatego możliwe, a nawet wskazane jest nawożenie jej osadami ściekowymi [Tworkowski 2006, s. 1; Gąsiorek 2005, s. 178]. Ponadto – wbrew dotychczasowym opiniom, jakoby wierzbę można było uprawiać na każdej glebie, o ile będzie ona dobrze uwilgotniona – nowsze badania wykazały, że wymaga ona nie tylko dużo wody, ale i żyznej ziemi, najlepiej należącej do klas IIIa i IIIb [Piskier 2008, s. 216]. Wykorzystanie ścieków nie tylko pomaga je zagospodarować i zutylizować, ale jest konieczne, by uzyskać odpowiednie plony.

Poza żyzną glebą, potrzebne jest odpowiednie jej nawodnienie. Wierzba wymaga co najmniej 500 mm opadów. Ponadto istotny jest również poziom wód gruntowych, który musi być bardzo wysoki (1,0–1,5 m). Susza może spowodować spadek plonów nawet o 50% [Szczukowski 2012, s. 246].

Istotnym zagrożeniem dla wysokości plonów są także chwasty [Tworowski, s. 1; Szczukowski 2012, s. 247–248], których nadmierna obecność może zmniejszyć zbiory nawet o połowę [Piskier 2008, s. 216]. Uprawa wymaga także zimowych zabiegów związanych z oraniem na głębokość 35 cm [Szczukowski 2012, s. 248].

Do tej pory zostało wyhodowanych wiele odmian dobrze nadających się do zbioru w krótkiej rotacji, zwykle do 4 lat (*short-rotation woody crops* – SRWC) na glebach wyższych klas bonitacyjnych. Odmiany te cechują się szybkim przyrostem w krótkim czasie, łatwością rozmnażania wegetatywnego i zdolnością do wielokrotnego odrastania po ścięciu [Szczukowski 2012, s. 245].

4. Możliwości produkcyjne a potrzeby

Wysokość plonów przy dobrze prowadzonej uprawie zależy od żyzności ziemi. W eksperymentach przeprowadzonych w pradolinie Wisły na glebach kompleksu pszennego dobrego, do którego zalicza się najczęściej klasy bonitacyjne II, IIIa i IIIb, niektóre odmiany wierzby wiciowej w czteroletnim cyklu osiągnęły nawet 30 ton suchej masy na hektar rocznie. Przeciętnie było to jednak znacznie mniej – około 20 t/ha rocznie w cyklu czteroletnim, 17,5 t w trzyletnim, 15,9 t w dwuletnim i 13,7 t przy corocznych zbiorach. Na plantacjach, którymi zarządzali rolnicy, a nie naukowcy, plony były znacznie niższe i mieściły się w przedziale 4–12 t/ha rocznie. Przyczyną tego było niewłaściwe gospodarowanie nawozami mineralnymi i odchwaszczanie, zły wybór i przygotowanie pola oraz stosowanie nasadzeń przypadkowych klonów roślin [Szczukowski 2012, s. 251].

Na glebach niższych klas bonitacyjnych plony wierzby są znacznie niższe. Na eksperymentalnych uprawach prowadzonych w cyklu dwuletnim na porównywanych poletkach o różnych klasach odnotowano średni roczny zbiór w wysokości 10,44 t/ha na glebie klasy IVb, 4,95 t/ha na klasie V i 1,76 t/ha na klasie VI [Piskier 2008, s. 218].

W tabeli 1 przedstawiono porównanie tych klas pod względem wielkości plonu w przeliczeniu na ilość możliwej do wytworzenia z niego energii elektrycznej. Biomasa ulega przetworzeniu na energię elektryczną poprzez

spalenie, więc trzeba uwzględnić stopień konwersji energii cieplnej na elektryczną. Został on tu przyjęty na poziomie 40%, gdyż tyle uzyskują najlepsze obecnie systemy [McKendry 2002, s. 48; Lund i in. 2012, s. 97–98].

Tabela 1. Produktywność różnych klas gleb do uprawy wierzby wiciowej – uprawa dwuletnia

Klasa gleby	Plon suchej masy (t/ha)	GJ/ha brutto	GJ/ha brutto po konwersji (40%)	GJ/ha netto po konwersji (40%)	GJ/ha netto rocznie po konwersji (40%)	MWh/ha netto rocznie
IVb	20,87	400,70	160,28	145,48	72,74	20,21
V	9,9	190,08	76,03	61,23	30,62	8,50
VI	3,52	67,58	27,03	12,23	6,17	1,70

GJ – gigadżule, MWh – megawatogodziny.

Źródło: Na podstawie: [Piskier 2008, s. 218–219].

Kolejną kwestią, na którą należy zwrócić uwagę w przeprowadzonych obliczeniach, są nakłady na założenie i utrzymanie plantacji. Wynosiły one 14,8 GJ energii na hektar. Została ona wniesiona w formie materiałów (nawozy, pestycydy i substancje aktywne – ich wytworzenie wymaga energii), agregatów i paliw [Piskier 2008, s. 218]. Jako że są one obecnie produkowane z paliw kopalnych, a biomasa ma za zadanie je zastąpić, do dalszych obliczeń przyjęto podaną w tabeli 1 wartość energetyczną netto powstałą po odjęciu od ww. wartości energetycznej plonu ilości energii potrzebnej na założenie i prowadzenie plantacji.

Uzyskana ilość energii pochodziła z dwuletniej uprawy, więc wartości zostały podzielone przez 2, by uzyskać roczną produkcję biomasy. Następnie jednostki zostały przeliczone z gigadżuli na megawatogodziny według

Tabela 2. Zapotrzebowanie na grunty orne dla wybranych klas gleby pod uprawę wierzby wiciowej

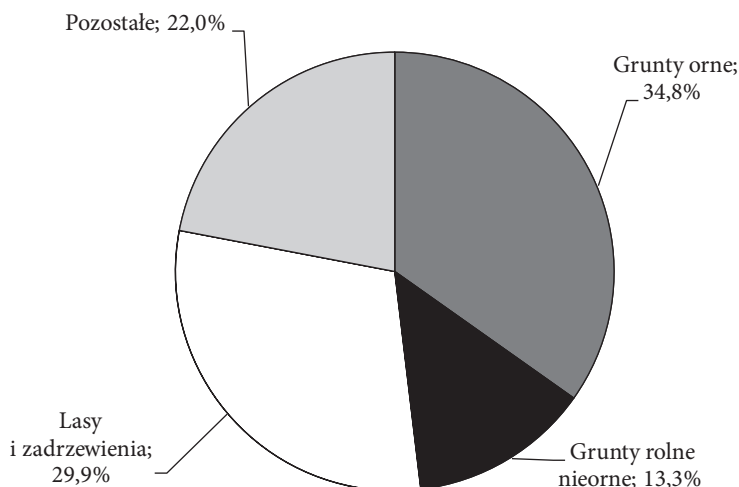
Klasa gleby	Potrzebna powierzchnia gruntów ornych pod uprawę wierzby (w ha)	
	ha	km ²
IVb	7 883 800	78 838
V	18 731 300	187 313
VI	93 754 300	937 543

Źródło: Obliczenia własne.

przelicznika $3,6 \text{ GJ} = 1 \text{ MWh}$ [Guilford i in. 2011, s. 1869]. W ten sposób uzyskana została ilość energii elektrycznej otrzymanej rocznie z hektara plantacji wierzby wiciowej na różnych klasach gleb.

W 2012 roku zużycie energii elektrycznej w Polsce (krajowe zużycie oraz straty i różnice bilansowe) wyniosło 159 299 GWh [GUS 2013a, s. 521]. Pozwala to oszacować zapotrzebowanie na grunty orne dla klas gleby IVb, V i VI przeznaczone pod uprawę wierzby wiciowej, które przedstawiono w tabeli 2.

Rysunek 3 przedstawia strukturę użytkowania ziemi w Polsce. Grunty orne stanowią 34,8% kraju.



Rysunek 3. Struktura użytkowania ziemi w Polsce

Źródło: FAOSTAT 2014

W tabeli 3 przedstawiono porównanie areалу gruntów ornych wybranych klas w Polsce z potencjalnym zapotrzebowaniem na nie, gdyby chciał zaspokoić całą konsumpcję energii elektrycznej w Polsce biomasą wytwarzaną z wierzby wiciowej uprawianej na danej klasie. Spadek wydajności produkcyjnej słabszych gleb znacząco zwiększa obszar potrzebny do wytworzenia określonej ilości biomasy z wierzby wiciowej. Gdyby uprawiać ją na glebach klasy IVb, potrzeba by ziemi o powierzchni 4,23 razy większej niż dostępne w Polsce grunty orne tej klasy. Dla klasy V współczynnik ten wynosi 8,11 (mimo zajmowania przez nią większego obszaru niż klasa IVb), dla naj słabszych gleb zaś klasy VI potrzeba by 67,58 razy więcej niż jest dostępne dla rolnictwa.

Tabela 3. Zapotrzebowanie na grunty orne pod uprawę wierzby wiciowej a ich dostępność

Klasa gleby	Powierzchnia klasy (w km ²)	Pow. klasy jako procent pow. lądowej Polski (w km ²)	Potrzebne grunty orne (w km ²)	Potrzebne grunty orne jako procent pow. lądowej Polski	Potrzeby a dostępność
IVb	18 644,64	6,13	78 838	25,92	4,23 : 1
V	23 083,84	7,59	187 313	61,59	8,11 : 1
VI	13 872,5	4,56	937 543	308,25	67,58 : 1

Źródło: Na podstawie: [Komornicki i in. 1998, s. 68–74].

Ponadto wierzba ma duże wymagania dotyczące odpowiednio wysokiego uwilgotnienia [Szczukowski 2012, s. 246], co sprawia, że nie wszystkie gleby w danej klasie nadają się do jej uprawy.

5. Ekonomiczne konsekwencje produkcji energii elektrycznej z wierzby wiciowej

Limitowana podaż czynnika produkcji w postaci ziemi jest zastrzana przez wizualne oddziaływanie wierzby wiciowej na krajobraz. Trzyletnia roślina osiąga 5 do 7 m, co stwarza bariery ograniczające otwartość krajobrazu rolniczego. Wymóg wysokiego uwilgotnienia gleby powoduje także, że najlepszymi miejscami do lokalizacji upraw wierzby są doliny rzek, które cechują również wyższe walory krajobrazowe. Z tych powodów takie plantacje nie powinny być zakładane na terenach cennych przyrodniczo [Faber 2008, s. 17].

Masowe wykorzystanie biomasy do produkcji elektryczności powodowałoby również problemy natury logistycznej, związane z ciągłym dostarczaniem ogromnych ilości suchej masy do elektrowni. Szacuje się, że zakład o mocy 400 MW potrzebowałby 10 000 ton materii dziennie. Każda ciężarówka musiałaby pokonać przeciętnie 100 km [Guła, Wajss i Goryl 2012, s. 201]. Oznacza to, że przy 10 tonach ładunku codziennie ciężarówki pokonywałyby 100 000 km, znacząco wpływając na stan dróg i powodując dużo hałasu.

Masowa produkcja biomasy zwiększa także popyt na grunty rolne, co skutkuje wzrostem kosztów produkcji nie tylko wierzby, ale i żywności. Według opinii Banku Światowego skala wzrostu cen żywności od stycznia 2002

do lutego 2008 roku w 75% miała związek z produkcją biopaliw płynnych w Stanach Zjednoczonych i w Unii Europejskiej. Nastąpiły wówczas: spadek wielkości zapasów ziaren zbóż oleistych, zmiany użytkowania gruntów oraz liczne destabilizujące spekulacje [Faber 2008, s. 2]. Produkcja żywności jest priorytetowa względem bioenergii [Szczukowski 2012, s. 245] (choćby ze względu na to, że dla produkcji energii jest dużo więcej alternatyw), więc można się spodziewać reakcji politycznej i ograniczeń dla rozwoju biomasy, jeśliby kolidowało to z żywnością. To pogarsza perspektywy dla długoterminowego inwestowania w biomasę. Zwiększony popyt na ziemię poskutkowałby wzrostem jej cen [Rathmann, Alexandre i Roberto 2010, s. 18], także w stosunku do plantacji wierzby. Ich zakładanie stawałoby się coraz droższe, a przez to mniej konkurencyjne i mniej opłacalne wobec innych OZE, które nie wymagają aż takich ilości gruntów.

Tabela 4 przedstawia tendencje strukturalne na rynku OZE w Polsce. Biopaliwa stałe zmniejszają swój udział, jednak wzrasta znaczenie biogazu i biopaliw płynnych. Biomasa ogółem powoli zmniejsza swój udział, jednak wciąż jest na bardzo wysokim poziomie powyżej 92%. Rozwój biopaliw płynnych wiąże się z problemami podobnymi do rozwoju biomasy stałej, jednak skala znaczenia tego zjawiska wymaga osobnych badań.

Tabela 4. Struktura odnawialnych źródeł energii w Polsce w latach 2007–2012 (w %)

Odnawialne źródła energii	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Biopaliwa stałe	91,03	87,48	85,77	85,29	84,99	82,16
Biogaz	1,33	1,78	1,62	1,67	1,83	1,98
Biopaliwa ciekłe	2,27	5,47	7,04	6,64	5,76	7,97
Pozostałe	5,37	5,27	5,57	6,40	7,42	7,89

Źródło: [GUS 2013b, s. 29].

W Niemczech już w 2006 roku importowano większość zużywanych tam biopaliw lub materiałów do ich produkcji [Rösch i in. 2010, s. 36]. Polska ma wprawdzie relatywnie duże zasoby ziemi rolnej (na jednego mieszkańca przypada w 0,41 ha) w porównaniu z tzw. krajami starej UE (0,19 ha) [Ministerstwo Gospodarki 2010, s. 181], jednak skala potrzeb podważa zasadność szerszego wykorzystania biomasy stałej z dedykowanych upraw.

Ograniczoność czynnika produkcji w postaci ziemi znacznie zmniejsza możliwość wyzwolenia efektów skali w wytwarzaniu biomasy z wierzby wi-
ciowej. Rozproszenie dostępnych gruntów sprawia zaś, że biomasa musiała-

by być transportowana do elektrowni z odległych plantacji, co wywołałoby kolejne negatywne skutki. Po pierwsze większy obszar, z którego zwożona byłaby biomasa, oznaczałby większe koszty transportu [IRENA 2015, s. 127]. Po drugie wzrosłoby zapotrzebowanie na energię do napędzania ciężarówek. O ile obecnie poruszają się one w dużym stopniu dzięki paliwom płynnym, ich substytuty ze sporym prawdopodobieństwem mogą być oparte na elektryczności (samochody napędzane bezpośrednio energią elektryczną lub wodorem, do którego produkcji potrzeba energii w innej formie [IEA 2006, s. 10]). To zaś obniżyłoby wielkość produkcji energii elektrycznej netto (czyli po odjęciu ilości potrzebnej do wytworzenia), co poskutkowałoby jeszcze większym zapotrzebowaniem na ziemię do upraw w celu pokrycia całego popytu. Ponadto masowo poruszające się na duże odległości ciężarówki, wiozące wiele ton ładunku, powodują dużo szybsze niszczenie dróg, a także hałas. Może się to wiązać z koniecznością rekompensowania tych negatywnych skutków zewnętrznych. Wszystkie powyższe kwestie znacząco wpływają na wzrost kosztów produkcji energii z biomasy z wierzby wiciowej. To zaś skutkuje obniżeniem jej konkurencyjności wobec innych źródeł.

Wnioski

Wierzba wiciowa pod względem żyzności gleby jest rośliną wymagającą. Na słabszych klasach bonitacyjnych jej plony są znacznie niższe niż na wyższych, które są zarezerwowane dla rolnictwa. Z tego względu jej uprawa napotyka spore trudności związane ze znalezieniem odpowiednich gruntów. Wykorzystując gleby klasy IVb, aby pokryć całe polskie zapotrzebowanie na energię elektryczną biomasą z wierzby wiciowej, potrzeba by obszaru 4,23 razy większego niż jest w Polsce gruntów ornych tej klasy. Dla klasy V potrzeby przekraczają dostępność 8,11 razy, dla klasy VI zaś – 67,58 razy. Są to w dodatku dane dotyczące obecnego zapotrzebowania na energię elektryczną, a prognozowany jest jego wzrost w przyszłości.

Ponadto należy pamiętać, że nie wszystkie obszary o klasach gleb IVb, V i VI są dostatecznie uwilgotnione, by nadawały się do uprawy wierzby. Do tego dochodzą problemy logistyczne związane z koniecznością transportu dużej ilości biomasy z dużego obszaru do jednego punktu oraz kwestie krajobrazowe, które stawiają dodatkowe ograniczenia rozwoju tego typu energii.

Wnioski takie mają zasadnicze znaczenie dla kierunku rozwoju polskiej energetyki, której odnawialna część jest w tej chwili oparta głównie na bio-

masie. Udział biopaliw w produkcji OZE w Polsce w 2012 roku wyniósł 92,11%, z czego 82,16% stanowiły paliwa stałe (1,98% biogaz, a 7,97% biopaliwa płynne). I choć Polska ma relatywnie duże zasoby ziemi uprawianej rolniczo w porównaniu z krajami starej UE, to skala zapotrzebowania jest na tyle duża, że elektroenergetyka nie może być oparta na biomasie ani wykorzystywać jej jako głównego odnawialnego źródła energii, jak to obserwujemy teraz.

Masowa produkcja energii elektrycznej z dedykowanych upraw wierzby wiciowej jest niemożliwa, a tylko ona pozwalałaby na uzyskanie efektów skali. Ich brak, połączony z kosztami transportu (bezpośrednimi i zewnętrznymi), skutkuje wysokimi kosztami, które stawiają biomasę w gorszej pozycji konkurencyjnej wobec pozostałych źródeł energii odnawialnej.

Biomasa może być jednak wykorzystana jako jedno ze źródeł energii, choć na małą skalę. Odbywać się to może np. poprzez zagospodarowanie odpadów organicznych (jak trociny z tartaków, pozostałości z gastronomii i przetwórstwa żywności, słoma itp.). Ponadto nawet dedykowane uprawy mogą być źródłem biomasy, jednak powinny pochodzić z terenów nienadających się do produkcji żywności, np. zdegradowanej bądź niekorzystnie położonej ziemi, która bez rekultywacji byłaby zbyt zanieczyszczona do jej wytwarzania.

Bibliografia

- Asafu-Adjaye, J., 2000, *The Relationship between Energy Consumption, Energy Prices and Economic Growth: Time Series Evidence from Asian Developing Countries*, Energy Economics, vol. 22, no. 6, s. 615–625.
- Baum, R., Wajszczuk, K., Pepliński, B., Wawrzynowicz, J., 2013, *Potential for Agricultural Biomass Production for Energy Purposes in Poland: A Review*, Contemporary Economics, vol. 7, iss. 1, s. 63–74.
- Berndes, G., Hoogwijk, M., Broek, R. van den, 2003, *The Contribution of Biomass in the Future Global Energy Supply: A Review of 17 Studies*, Biomass and Bioenergy, vol. 25, iss. 1, s. 1–28.
- Błażejewska, K., 2012, *Pozyskiwanie biomasy z gruntów rolnych a bezpieczeństwo żywnościowe – wybrane aspekty prawne*, Przegląd Prawa Rolnego, nr 2(11), s. 11–29.
- Brechbill, S.C., Tyner, W.E., Ileleji, K.E., 2011, *The Economics of Biomass Collection and Transportation and Its Supply to Indiana Cellulosic and Electric Utility Facilities*, BioEnergy Research, vol. 4, iss. 2, s. 141–152.

- Carneiro, P., Ferreira, P., 2012, *The Economic, Environmental and Strategic Value of Biomass*, Renewable Energy, vol. 44, s. 17–22.
- Coronado, C.R., Yoshioka, J.T., Silveira, J.L., 2011, *Electricity, Hot Water and Cold Water Production from Biomass. Energetic and Economical Analysis of the Compact System of Cogeneration Run with Woodgas from a Small Downdraft Gasifier*, Renewable Energy, vol. 36, iss. 6, s. 1861–1868.
- Čosić, B., Stanić, Z., Duić, N., 2011, *Geographic Distribution of Economic Potential of Agricultural and Forest Biomass Residual for Energy Use: Case Study Croatia*, Energy, vol. 36, iss. 4, s. 2017–2028.
- Darmon, N., Ferguson, E.L., Briend, A., 2002, *A Cost Constraint Alone Has Adverse Effects on Food Selection and Nutrient Density: An Analysis of Human Diets by Linear Programming*, The Journal of Nutrition, vol. 132, iss. 12, s. 3764–3771.
- Eurostat, 2014, http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/statistics/search_database [dostęp: 29.06.2014].
- Faber, A., 2008, *Potencjał i konsekwencje rolnej produkcji biomasy dla energetyki*, Centrum Informacji o Rynku Energii.
- FAOSTAT, 2014, <http://faostat.fao.org/site/377/default.aspx#anchor> [dostęp: 29.06.2014].
- Fernandes, U., Costa, M., 2010, *Potential of Biomass Residues for Energy Production and Utilization in a Region of Portugal*, Biomass and Bioenergy, vol. 34, iss. 5, s. 661–666.
- Fischer, G., Schrattenholzer, L., 2001, *Global Bioenergy Potentials through 2050*, Biomass and Bioenergy, vol. 20, iss. 3, s. 151–159.
- Gąsiorek, S., 2005, *Różnorodne aspekty upraw wierzby wiciowej w warunkach górskich*, Inżynieria Rolnicza, nr 6, s. 177–180.
- Gerber, L., Gassner, M., Maréchal, F., 2011, *Systematic Integration of LCA in Process Systems Design: Application to Combined Fuel and Electricity Production from Lignocellulosic Biomass*, Computers & Chemical Engineering, vol. 35, iss. 7, s. 1265–1280.
- Guilford, M.C., Hall, Ch.A.S., O'Connor, P., Cleveland, C.J., 2011, *A New Long Term Assessment of Energy Return on Investment (EROI) for U.S. Oil and Gas Discovery and Production*, Sustainability, vol. 3, no. 10, s. 1866–1887.
- Guła, A., Wajss, P., Goryl, W., 2012, *Is Using Biomass for Power Generation a Good Solution? The Polish Case*, Przegląd Elektrotechniczny, nr 5a, s. 198–203.
- GUS, 2013a, *Rocznik statystyczny Rzeczypospolitej Polskiej*, Główny Urząd Statystyczny, Warszawa.
- GUS, 2013b, *Energia ze źródeł odnawialnych w 2012 r.*, Główny Urząd Statystyczny, Warszawa.
- Hoogwijk, M.M., 2004, *On the Global and Regional Potential of Renewable Energy Sources*, Universiteit Utrecht, Faculteit Scheikunde.
- IEA, 2006, *Hydrogen Production and Storage. R&D Priorities and Gaps*, International Energy Agency, Paris.

- IRENA, 2015, *Renewable Power Generation Costs in 2014*, International Renewable Energy Agency, Bonn.
- Lewandowski, I., Weger, J., Hooijdonk, A. van, Havlickova, K., Dam, J. van, Faaij, A. 2006, *The Potential Biomass for Energy Production in the Czech Republic*, Biomass and Bioenergy, vol. 30, iss.5, s. 405–421.
- López-Rodríguez, F., Pérez Atanet, C., Cuadros Blázquez, F., Ruiz Celma A. 2009, *Spatial Assessment of the Bioenergy Potential of Forest Residues in the Western Province of Spain, Cáceres*, Biomass and Bioenergy, vol. 33, iss. 10, s. 1358–1366.
- Lund, H., Andersen, A.N., Østergaard, P.A., Mathiesen, B.V., Connolly, D., 2012, *From Electricity Smart Grids to Smart Energy Systems – Market Operation Based Approach and Understanding*, Energy, vol. 42(1), s. 96–102.
- Komornicki, T., Oleksynowa, K., Jakubiec, J., Miechówka, A., 1998, *Przewodnik do ćwiczeń z gleboznawstwa i geologii, cz. III Systematyka gleb i gleboznawstwo terenowe*, Akademia Rolnicza im. H. Kołłątaja w Krakowie, Kraków.
- McKendry, P., 2002, *Energy Production from Biomass (Part 2): Conversion Technologies*, Bioresource Technology, vol. 83, iss. 1, s. 47–54.
- Ministerstwo Gospodarki, 2010, *Krajowy plan działania w zakresie energii ze źródeł odnawialnych*, Warszawa.
- Offermann, R., Seidenberger, T., Thrän, D., Kaltschmitt, M., Zinoviev, S., Mierthus, s., 2011, *Assessment of Global Bioenergy Potentials, Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, vol. 16, iss. 1, s. 103–115.
- Piskier, T., 2008, *Efektywność energetyczna uprawy wierzby w różnych warunkach glebowych*, Inżynieria Rolnicza, nr 2(100), s. 215–220.
- Rathmann, R., Alexandre, S., Roberto, S., 2010, *Land Use Competition for Production of Food and Liquid Biofuels: An Analysis of the Arguments in the Current Debate*, Renewable Energy, vol. 35, no. 1, s. 14–22.
- Richmond, A.K., Kaufmann, R.K., 2006, *Is there a Turning Point in the Relationship between Income and Energy Use and/or Carbon Emissions?*, Ecological Economics, vol. 56, iss. 2, s. 176–189.
- Rösch, C., Jörissen, J., Skarka, J., Knapp, M., 2010, *Strategies to Reduce Land Use Competition and Increasing the Share of Biomass in the German Energy Supply*, w: *Proceedings of the 18th European Biomass Conference and Exhibition: From Research to Industry and Markets*, 3–7 May 2010, Lyon, France, s. 34–39.
- Ruiz, J.A., Juárez, M.C., Morales, M.P., Muñoz, P., Mendivil, M.A., 2013, *Biomass Gasification for Electricity Generation: Review of Current Technology Barriers*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 18, s. 174–183.
- Saidur, R., Abdelaziz, E.A., Demirbas, A., Hossain, M.S., Mekhilef, S., 2011, *A Review on Biomass as a Fuel for Boilers*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 15, iss. 5, s. 2262–2289.
- Smeets, E.M., Faaij, A.P.C., Lewandowski, I.M., Turkenburg, W.C., 2007, *A Bottom-up Assessment and Review of Global Bio-energy Potentials to 2050*, Progress in Energy and Combustion Science, vol. 33, iss. 1, s. 56–106.

- Smith, P., Gregory, P.J., Vuuren, D. van, Obersteiner, M., Havlík, P., Rounsevell, M., Woods, J., Stehfest, E., Bellarby, J., 2010, *Competition for Land*, Philosophical Transactions of The Royal Society B, vol. 365, iss. 1554, s. 2941–2957.
- Szczukowski, S., 2012, *Wierzba Salix L.*, w: Kołodziej, B., Matyka, M. (red.), *Odnawialne źródła energii: rolnicze surowce energetyczne*, Powszechne Wydawnictwo Rolnicze i Leśne, Poznań, s. 243–252.
- Steubing, B., Zah, R., Waeger, P., Ludwig, C., 2010, *Bioenergy in Switzerland: Assessing the Domestic Sustainable Biomass Potential*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 14, iss. 8, s. 2256–2265.
- Tworowski, J., 2006, *Uprawa wierzb krzewiastych na gruntach rolniczych*, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie, Olsztyn.
- Vasco, H., Costa, M., 2009, *Quantification and Use of Forest Biomass Residues in Maputo Province, Mozambique*, Biomass and Bioenergy, vol. 33, iss. 9, s. 1221–1228.
- Zochowska, M., Kingsbury, A., Kobuszyn, K., 2012, *Renewable Energy and Biofuel Situation in Poland*, USDA Foreign Agricultural Service.